

FORMASI BATUAN DAN *SITE CLASS* DI BANDAR LAMPUNG

Rustadi^{1*}, Eko Rananda²,

^{1,2}Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung; Jl. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung

Received: xxxx-xx-xx

Accepted: xx-xx-xx

Keyword:

SPT, kecepatan gelombang geser, Bandar Lampung

Correspondent Email:

rustadi_2007@yahoo.com

Abstrak. Karakteristik tanah memberikan peran penting terhadap skala kerusakan oleh getaran gempabumi. Dampak yang diakibatkan oleh gempa di suatu lokasi bergantung pada kecepatan gelombang geser (V_s). Penelitian mengkaji pengaruh formasi batuan sedimen terhadap kecepatan gelombang geser dan *site class* berdasar uji SPT di dua formasi batuan di Bandar Lampung. Nilai V_s , V_{s30} dan *site class* ditentukan berdasar nilai N-SPT. Formasi batuan lebih tua berumur Kuartar, telah menghasilkan kompaksi di kedalaman dangkal 2 m dari permukaan, dengan $V_{s30} > 360$ m/s dan *site class* C. Sedangkan formasi lebih muda, kompaksi baru terbentuk di kedalaman 20 m, $V_{s30} > 200$ m/s dan *site class* D.

Abstract. Soil characteristics are important impact for the scale of damage caused by earthquake vibrations. The impact caused by an earthquake in a location depends on the shear wave velocity (V_s). The study examined the effect of sedimentary rock formations on shear wave velocity and *site class* based on SPT tests in two rock formations in Bandar Lampung. The value of V_s , V_{s30} and *site class* is determined based on the N-SPT value. Older rock formations of Quaternary age, have produced compaction at a shallow depth of 2 m from the surface, with $V_{s30} > 360$ m/s and *site class* C. While the formation is younger, compactions are formed at a depth of 20 m, $V_{s30} > 200$ m/s and *site class* D.

1. PENDAHULUAN

Teluk Lampung secara tektonik dipengaruhi gerak aktif Lempeng Samudera Hindia dengan kecepatan 50 - 70 mm/ tahun. Pengaruh tekanan secara kontinu menghasilkan komponen subduksi sumber gempa besar dan Sesar Sumatera (Natawidjaja et al., 2007). Tatanan tektonik tersebut termasuk pada zona rawan bencana gempabumi dengan indeks deterministik PGA 0,15 – 0,20. Wilayah yang termasuk pada zona rawan gempabumi, diperlukan perencanaan mitigasi dan identifikasi karakterisasi tanah.

Keadaan geologi lokal mengendalikan dampak di permukaan permukaan akibat gangguan gempabumi. Sifat tanah di bawah permukaan

dapat mengubah amplitudo, frekuensi, dan durasi gelombang sesimik saat mencapai permukaan. Fenomena ini dikenal sebagai *site effect* dan dapat menyebabkan kerusakan tambahan selama gempa bumi berupa guncangan tanah, likuifaksi, dan longsor (Anbazhagan et al., 2013).

Keadaan lapisan sedimen tebal dan muka air tanah dangkal, dapat menghasilkan penguatan gelombang dan resiko likuifaksi (Dietiker et al., 2018; Maklad and Hayashida, 2017; Haefner et al., 2010). Sebelum menilai bahaya ini, penting untuk memahami geologi wilayah tersebut dengan memfokuskan pada karakteristik tanah bawah permukaan. Pendekatan telaah akan membantu untuk

memahami *site effect* dan dampak yang dapat terjadi secara akurat, sehingga dampak gempa bumi di masa depan dapat direduksi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Regional

Geologi Bandar Lampung memiliki tatanan yang kompleks (Mangga dkk, 1993) seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Batuan dasar tersusun oleh batuan metamorf Formasi Komplek Gunung Kasih berumur Pra-Tersier kurun waktu Paleozoikum sebagai batuan dasar, dan di beberapa wilayah naik mendekati permukaan. Formasi Komplek Gunung Kasih yang terdapat di Bandar Lampung tersusun oleh batuan sekis dan batuan kuarsit.

Kurun waktu Kapur Pra-Tersier terdapat proses pembentukan magmatis yang menyebabkan Formasi Komplek Gunung Kasih diintrusi oleh batuan granodiorit (Formasi Granodiorit Seputih/Kgdsn). Masa Eosen (Tersier), Formasi Komplek Gunung Kasih juga diterobos oleh batuan granit (Formasi Granit Jatibaru/Tejg) dan naiknya lensa-lensa basal (Formasi Basal/Tpeb).

Batuan dasar dan batuan intrusi mengalami penutupan oleh material sedimen jalur Bukit Barisan menghasilkan Formasi Campang (Tpoc) dan Formasi Tarahan (Tpot) berumur Eosen. Kurun waktu Kuartar menghasilkan pembentukan Formasi Lampung (Q_{TL}) yang menutupi bagian permukaan sebagian besar wilayah Bandar Lampung. Produk batuan paling muda adalah Formasi Gunungapi Muda (Qhv) yang berkaitan dengan keberadaan Gunung Betung dan Gunung Ratai di bagian barat Bandar Lampung. Di bagian pesisir menghasilkan endapan alluvial pantai (Q_a) yang dipengaruhi pasang surut air laut dan arus aliran *run off* dari bagian yang lebih tinggi.

2.2. SPT dan Gelombang Geser

Pengujian standar penetrasi tes (SPT) menjadi salah satu cara untuk mengukur kekuatan atau kepadatan tanah. Teknik pengujian dilakukan melalui gangguan pembebanan berulang pada lubang bor terhadap kekakuan/kepadatan lapisan tanah. Lapisan lunak relative kurang mampu menahan tekan, sehingga diperlukan jumlah kecil pembebanan. Ukuran butir,

kandungan air, gaya kohesi antar butiran dapat mempengaruhi kekuatan dan kepadatan (Hatmoko and Suryadharma, 2015; Cetin et al., 2018). Proses pembentukan sedimen menjadi batuan sedimen melalui litifikasi dan sementasi berperan besar dalam peningkatan kohesi antar butiran. Sedangkan umur geologi pada formasi batuan sedimen, juga dapat mengontrol kepadatan.

Terdapat korelasi yang baik antara pendekatan uji tekan kepadatan terhadap parameter gelombang geser. Berbagai penelitian terkait yang menurunkan hubungan antara SPT-N dan V_s dari berbagai variable; jenis tanah, ukuran butiran dan kandungan air (Fatehnia et al., 2015; Kirar et al., 2016; Kumar et al., 2016; Cetin et al., 2018). Namun kondisi geologi antar wilayah, menghasilkan variasi impuritas material yang akan mempengaruhi empiris antara SPT-N dan V_s . Kirar et al., 2016 menurunkan empiris hubungan keduanya untuk semua jenis tanah

$$V_s = 50(N_{60})^{0.41} \quad (1)$$

Estimasi cepat rambat gelombang geser yang dapat di analisa hasil uji in-situ berdasarkan SPT-N dari setiap material penyusun, telah banyak dimanfaatkan untuk telaah mikrozonasi *site class* (Gallipoli and Mucciarelli, 2009; Luzi et al., 2011; Shukla et al., 2015). Rata-rata kecepatan gelombang geser dari permukaan hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) diadopsi sebagai standar internasional diinisiasi *National Earthquake Hazard Reduction Program* (NEHRP) untuk penentuan klasifikasi karakter tanah. Site class berdasar nilai SPT dapat diperoleh berdasar V_{s30} .

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum(\frac{d}{V_s})}$$

3. METODE PENELITIAN

Investigasi geoteknik dilakukan dengan menggunakan 4 titik SPT di tiga formasi daerah penelitian. 3 titik berada pada formasi berumur Kuartar yaitu; Formasi Lampung (Q_{TL}) dan Formasi Gunungapi Muda (Qhv)

serta 1 titik pada formasi lebih tua berumur Tersier, Formasi Tarahan (T_{POT}) seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Kisaran kedalaman uji SPT antara 12 - 32 m, sesuai dengan hasil respon kekakuan material. Tabel 1 memperlihatkan jenis tanah, nilai N_{60} dan interpretasi V_s lapisan serta V_{s30} , amplifikasi dan frekuensi alamiah untuk semua titik uji.

Data pada Tabel 1 memperlihatkan keragaman litologi penyusun dengan kedalaman sesuai dengan uji SPT, respon nilai SPT, besaran gelombang geser setiap material, gelombang geser hingga kedalaman 10 m, penguatan gelombang (amplifikasi) dan frekuensi alamiah getaran tanah.

4. PEMBAHASAN

Gunungapi Muda (Q_{hv}) dan Formasi Formasi Lampung (Q_{TI}) menjadi bagian dominan lapisan penutup di wilayah Lampung. Kedua formasi berumur Kuartar, dan bersinggungan dengan formasi berumur lebih tua yaitu Formasi Campang (T_{POC}) dan Formasi Tarahan (T_{POT}) berumur Tersier. Namun keempat formasi memiliki karakteristik berkaitan dengan produk gunungapi di masa lalu.

Material penyusun Formasi Gunungapi Muda (Q_{hv}) terdiri dari breksi dan tufa akumulasi dari piroklastik serta lava andesit-basal. Formasi Lampung (Q_{TI}) memiliki material penyusun; tufa, lempung tufaan, pasir tufaan dan tufit. Sedangkan kurun waktu yang lebih tua menghasilkan Formasi Campang (T_{POC}) dengan material penyusun; lanau, tufa, breksi, lempung tufaan, dan pasir tufaan. Formasi Tarahan (T_{POT}) tersusun oleh tufa, breksi dan sisipan rijang.

Formasi paling muda berupa alluvial pantai (Q_a), tersebar secara terbatas di pesisir pantai. Mangga dkk (1994), menyatakan formasi ini campuran produk sirkulasi arus laut dan aliran *run off* air hujan yang membawa material sedimen di bagian lebih tinggi menuju pantai. Penyusun berupa; kerakal, kerikil, pasir dan lempung.

Tabel 1 memperlihatkan informasi terbatas nilai N-SPT dan litologi penyusun. Nilai kecepatan gelombang geser lapisan ditentukan berdasar hasil penelitian Kirar et al., 2016.

SPT-1 yang berada pada Formasi Gunungapi Muda (Q_{hv}) memiliki kemiripan dengan SPT-2 Formasi Lampung (Q_{TI}). Kemiripan susunan material (litologi) dan respon kekakuan batuan. Kedalaman kurang dari 4 meter, lapisan tanah sudah masuk pada kategori padat dengan $N > 40$. Kedalaman lebih dari 8 m, lapisan sudah sangat padat dengan $N > 50$ (Terzaghi et al, 1996). Pada keduanya, di kedalaman lebih dari 2 m, lapisan tanah sudah termasuk pada kelas C *very dense soil*, dengan kecepatan geser material > 360 m/s. Amplifikasi gelombang pada media adalah rendah 1,55 kali pada titik SPT-2 dan 1,57 pada SPT-1. Frekuensi alamiah getaran tanah pada kisaran 2,83 – 2,91 Hz.

Sedangkan hasil di SPT-3 yang berada pada Formasi Lampung (Q_{TI}) memiliki kemiripan dengan SPT-4 di Formasi Tarahan (T_{POT}). Formasi Tarahan jauh lebih tua dibandingkan Formasi Lampung. Lapisan tanah padat berada pada kedalaman 14 m di SPT-3, sedangkan pada SPT-4 berada pada kedalaman 20 m. Adapaun lapisan sangat padat berada pada kedalaman 20 – 22 m. Faktor umur geologi pada SPT-4 tidak memberikan pengaruh pada pembentukan kekakuan lapisan tanah. Terdapat kontras antara SPT-3 dengan SPT-2 yang berada pada formasi batuan yang sama. Namun berdasar material penyusun, titik SPT-3 dan SPT-4 dapat disimpulkan sebagai Formasi Aluvial (Q_a) yang dicirikan oleh keberadaan terumbu karang. Jika kedua titik termasuk pada Formasi Aluvial, maka terdapat pengaruh umur geologi terhadap proses litifikasi dan kompaksi, serta pengaruhnya terhadap kekakuan lapisan tanah antar formasi penutup batuan dasar. Namun keterbatasan data belum dapat disimpulkan pengaruh umur geologi terhadap respon SPT, kecepatan gelombang geser dan *site class*.

Proses sedimentasi dan pembentukan formasi batuan sedimen sebagai lapisan penutup batuan dasar di Bandar Lampung, relative kompleks. Proses sementasi dan litifikasi mempengaruhi gaya kohesi antar butiran dan kekakuan litologi. Umur geologi berperan besar dalam proses litifikasi melalui pengaruh tekanan *overburden*. Proses geologi pada formasi berumur Kuartar mampu menghasilkan sifat kekakuan batuan lebih tinggi dibandingkan

pada formasi berumur lebih muda Formasi Alluvial pantai. Kohesi antar butiran pada formasi berumur muda, juga dipengaruhi oleh saturasi air pada ruang pori yang belum termampatkan oleh kompresi (Zhang et al., 2019).

5. KESIMPULAN

Umur formasi batuan memiliki korelasi linier terhadap pembentukan sifat kekakuan lapisan sedimen.

Formasi Lampung dan Gunungapi Muda berumur Kuartar namun relative lebih tua dibandingkan Formasi Aluvial Pantai, proses geologi telah mampu menghasilkan kompaksi. Lapisan padat dengan $N > 40$, telah terbentuk di kedalaman 2 m. Sedangkan pada Formasi Aluvial Pantai, lapisan padat baru terbentuk di kedalaman 20 m. *Site class* pada Formasi Lampung dan Gunungapi Muda termasuk pada kelas C *very dense soil*, dengan $V_{s30} > 360$ m/s. Sedangkan pada alluvial pantai termasuk kelas D *stiff soil* dengan $V_{s30} > 200$ m/s.

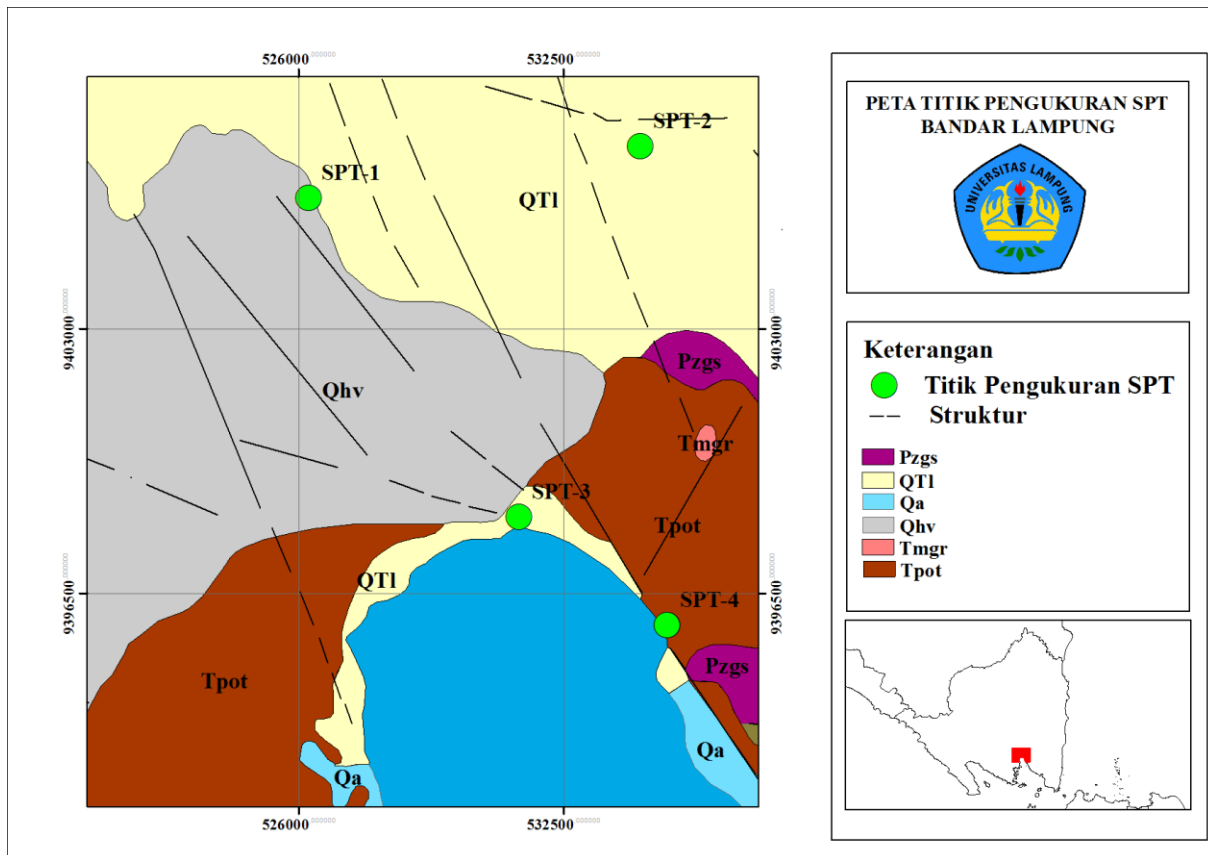
Untuk mendapatkan hubungan empiris antara V_s lapisan penyusun, diperlukan analisa core skala laboratorium. Hasil yang diperoleh akan memberikan manfaat untuk menafsirkan cepat rambat gelombang geser material penyusun dan identifikasi *Site class* secara cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anbazhagan, P., Kumar, A., & Sitharam, T. G. (2013). Seismic Site Classification and Correlation between Standard Penetration Test N Value and Shear Wave Velocity for Lucknow City in Indo-Gangetic Basin. *Pure and Applied Geophysics*, 170(3), 299–318. <https://doi.org/10.1007/s00024-012-0525-1>
- Cetin, K. O., Seed, R. B., Kayen, R. E., Moss, R. E. S., Bilge, H. T., Ilgac, M., & Chowdhury, K. (2018). The use of the SPT-based seismic soil liquefaction triggering evaluation methodology in engineering hazard assessments. *MethodsX*, 5, 1556–1575. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.11.016>
- Dietiker, B., Pugin, A. J. M., Crow, H. L., Mallozzi, S., Brewer, K. D., Cartwright, T. J., & Hunter, J. A. (2018). HVSR measurements in complex sedimentary environment and highly structured resonator topography - Comparisons with seismic reflection profiles and geophysical borehole logs. *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, SAGEEP, 2018-March*.
- Fatehnia, M., Hayden, M., & Landschoot, M. (2015). Correlation between shear wave velocity and SPT-N values for north Florida soils. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 20(22), 12421–12430.
- Haefner, R. J., Sheets, R. A., & Andrews, R. E. (2010). Evaluation of the horizontal-to-vertical spectral ratio (HVSR) seismic method to determine sediment thickness in the vicinity of the south well field, Franklin county, OH. *Ohio Journal of Science*, 110(4), 77–85.
- Hatmoko, J. T., & Suryadharma, H. (2015). Prediction of liquefaction potential study at Bantul Regency the province of special region of Yogyakarta Indonesia. *Procedia Engineering*, 125, 311–316. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.068>
- Kirar, B., Maheshwari, B. K., & Muley, P. (2016). Correlation Between Shear Wave Velocity (V_s) and SPT Resistance (N) for Roorkee Region. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 2(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s40891-016-0047-5>
- Luzi, L., Puglia, R., Pacor, F., Gallipoli, M. R., Bindi, D., & Mucciarelli, M. (2011). Proposal for a soil classification based on parameters alternative or complementary to V_s . *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9(6), 1877–1898. <https://doi.org/10.1007/s10518-011-9274-2>
- Maklad, M., & Hayashida, T. (2017). *Estimation of Shear Wave Velocity Profiles Using Microtremor Array Explorations in Ismailia City, Egypt*. 1–6.
- Mangga, S.A., Amiruddin, T., Suwanti, S., Gafoer dan Sidarto, 1993, Geologi Lembar Tanjungkarang, Sumatera, PPPG, Departemen Pertambangan dan Energi.
- Natawidjaja, D. H., Sieh, K., Galetzka, J., Suwargadi, B. W., Cheng, H., Edwards, R. L., & Chlieh, M. (2007). *Interseismic deformation above the Sunda Megathrust recorded in coral microatolls of the Mentawai islands, West Sumatra*. *Interseismic deformation above the Sunda Megathrust recorded in coral microatolls of the Mentawai islands, West Sumatra*. (February). <https://doi.org/10.1029/2006JB004450>
- Shukla, J., Choudhury, D., & Shah, D. (2015).

Estimation of shear wave velocity from SPT N-value-Field assessments. *15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ARC 2015: New Innovations and Sustainability*, (April 2016), 346–349. <https://doi.org/10.3208/jgssp.IND-28>

Zhang, W. G., Zhang, R. H., Han, L., & Goh, A. T. C. (2019). Engineering properties of the Bukit Timah Granitic residual soil in Singapore. *Underground Space (China)*, 4(2), 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2018.07.001>



Gambar 1. Peta geologi Bandar Lampung dan distribusi uji SPT

Tabel 1. Data SPT, nilai gelombang geser lapisan dan ketebalan 30 m, amplifikasi dan frekuensi alamiah tanah

SPT-1 Ramayana Rajabasa					
Kedalaman (m)	Penyusun	N ₆₀	V _s (ms ⁻¹)	V _{s10} (ms ⁻¹)	Amplifikasi dan frekuensi alamiah (Hz)
0 – 2	Lempung	12	234	340	1,57 2,83
2 – 4	Lempung tufaan	> 50	384		
4 – 6	Lempung tufaan	> 50	384		
6 – 10	Pasir dan sisipan lensa andesit	> 50	384		
10 -12	Sill andesit	> 50	384		
SPT-2 Itera					
0 – 0,5	Lempung	8	204	350	1,55 2,91
0,5 – 2	Lempung	30	322		
2 - 8	Lempung	44	367		

	pasiran				
8 - 10	Lempung pasiran	55	397		
10 - 20	Pasir kompaksi	> 60	409		
SPT-3 Vihara Teluk Betung					
0 - 0,5	Lempung	8	204	216	1,59 1,80
0 - 1	Timbunan	6	185		
1 - 3	Pasir dan terumbu karang	27	310		
3 - 10	Lempung	8	204		
10 - 14	Lempung	22	289		
14 - 22	Lempung	> 50	384		
SPT-4 Pelindo					
0 - 11	Pasir dan terumbu karang	11	204	204	2,43 1,70
11 - 14	Lempung	6	322		
14 - 20	Lempung pasiran	14	367		
20 - 24	Lempung	44	397		
20 - 30	Lempung	> 50	409		